

# XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

## QUALIDADE DE ÁGUA DE PEQUENOS RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO CEARENSE

*Leonardo Schramm Feitosa<sup>1</sup>; Laldiane de Souza Pinheiro<sup>2</sup>; Mario Cesar Wiegand<sup>3</sup>; Diego Castro Ribeiro<sup>4</sup>; José Carlos de Araújo<sup>5</sup>*

### RESUMO

Os estudos em pequenos reservatórios no semiárido nordestino ainda são escassos, principalmente com relação à qualidade de água e a presente pesquisa buscou avaliar o estado trófico e a qualidade da água de pequenos reservatórios do semiárido cearense. Foram realizadas coletas mensais, entre os meses de abril e outubro/2010, em três pontos definidos, nos pequenos reservatórios Paus Branco e Mel, localizados em Madalena-Ceará. As determinações físico-químicas e biológicas seguiram as indicações descritas pela APHA (2005), sendo realizadas no Laboratório de Efluentes e Qualidade de Água (LABOMAR-UFC) e no Laboratório de Eletroquímica e Corrosão Microbiana (UECE). A turbidez, a condutividade elétrica e o pH foram determinados *in situ* nos reservatórios. Optou-se pelo IET de Lamparelli (2004), que refletia melhor as condições tróficas dos reservatórios. O IET de P1 varia de mesotrófico a eutrófico, P2 permanece em quase todos os meses como eutrófico, P3 permanece em todos os meses como eutrófico. O IET de P4, P5 e P6 variam de supereutrófico a hipereutrófico. Os resultados indicam que os reservatórios podem estar eutrofizados e corroboram com outros resultados de pequenos reservatórios do semiárido nordestino. O banco de dados gerado pode ser um importante auxiliar para ações e políticas de gestão desses recursos hídricos.

### ABSTRACT

Studies in small reservoirs in the semiarid Northeast are still scarce, especially with regard to water quality and this study sought to evaluate the trophic state and water quality of small reservoirs in the semi-arid region of Ceará. Were collected monthly between April and October/2010, in three set points in small reservoirs Paus Branco and Mel, located in Madalena-Ceará. The physical-chemical and biological measurements follow the procedure described by APHA (2005), being held at the Laboratory for Waste and Water Quality-Labomar the UFC and the Laboratory of Electrochemistry and Corrosion of Microbial UECE. Turbidity, electrical conductivity and pH were determined *in situ* in the reservoirs. Was chosen the TSI Lamparelli (2004), which better reflected the trophic conditions of reservoirs. The TSI P1 ranges from mesotrophic to eutrophic, P2 remains in almost every month as eutrophic, P3 remains in all months as eutrophic. The TSI P4, P5 and P6 vary supereutrophic to hypereutrophic. The results indicate that the reservoirs may be eutrophic and corroborate other findings of small reservoirs in the semiarid northeast. The database generated can be an important aid for actions and policies to manage these water resources.

**Palavras-chave:** Pequenos reservatórios, qualidade de água, IET (Índice de Estado Trófico).

---

1-Doutorando pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará-UFC (leonardo\_schramm@ibest.com.br).

2-Mestre pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará-UFC (laldiane.pinheiro@gmail.com).

3-Doutorando pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará-UFC (mcwiegand1@yahoo.com.br).

4-Mestrando pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará-UFC (diegoribeiro.c@gmail.com).

5-Professor adjunto do departamento de engenharia agrícola, Universidade Federal do Ceará-UFC (jcaraujo@ufc.br).

## INTRODUÇÃO

A ocupação humana no semiárido nordestino foi acompanhada da construção de reservatórios, chamados de “açudes” no nordeste brasileiro, ao longo do tempo, por motivos históricos, climáticos, políticos e desenvolve-se de forma intensa, porém desordenada, tornando estes reservatórios parte das comunidades. A açudagem caracteriza-se como uma das melhores alternativas para solução de escassez de água no semiárido, favorecendo, assim, a uma distribuição espacial da água, onde as comunidades ocupam o espaço de forma difusa e não possuem um sistema de abastecimento planejado. Evidencia-se assim, a importância da implantação destes reservatórios para a melhoria das condições socioeconômicas dessas populações.

Os açudes têm uma grande importância, principalmente nos períodos de estiagem, pois suas águas passam a ser utilizadas para múltiplos usos, tais como irrigação, dessedentação de animais, consumo humano e piscicultura (CEBALLOS, 1995). Nesse contexto, consoante ao semiárido brasileiro, a gestão de recursos hídricos está, em grande parte, associada à gestão de reservatórios superficiais construídos para o armazenamento de água, responsáveis pela maior parcela da oferta hídrica nessa região. A alta variabilidade temporal das precipitações associada à ocorrência de solos rasos, o que impossibilita o armazenamento subterrâneo de água em quantidade satisfatória, confere à região características de intermitência dos rios e uma situação de escassez hídrica (MEDEIROS & VIEIRA, 2006).

Segundo Silans (2003), os projetos SERTANEJO e PROHIDRO, realizados entre 1978 e 1983, relataram, respectivamente, a construção de 3.643 e 8.261 açudes no Nordeste. Estima-se que no início da década de 90, existiam aproximadamente 70.000 açudes no Nordeste entre pequenos, médios e grandes açudes. A construção de pequenos açudes em uma área já saturada de açudes, ocorrem após períodos de estiagem mais longos. A busca de soluções para as recorrentes secas no Nordeste brasileiro levou à prática de construção de um grande número de reservatórios sem, entretanto, se enquadrarem em uma política hídrica para as bacias hidrográficas.

Em função do volume de água armazenado Lima Neto *et al.* (2011) e Malveira *et al.* (2011) propõem quatro classes de tamanho de açudes: micro (menor do que 1hm<sup>3</sup>), pequeno (de 1 a 10 hm<sup>3</sup>), médio (de 10 a 50 hm<sup>3</sup>), grande ou estratégico (acima de 50 hm<sup>3</sup>).

Os órgãos de gestão das águas não dão a devida importância aos pequenos açudes por considerarem que os mesmos não oferecem segurança hídrica ao Estado, devido à sua pequena capacidade de armazenamento. No entanto, esta linha de raciocínio seria válida caso houvesse número reduzido, principalmente de pequenos açudes, mas caso o número de pequenos açudes seja elevado,

muitas vezes a soma dos volumes acumulados por estes supera o volume acumulado por um grande reservatório em uma mesma bacia hidrográfica. Malveira (2009), estudando a bacia do açude Orós, no Ceará, cita que o volume potencial de armazenamento na bacia, com pequenos e grandes açudes, é da ordem de 5,9 bilhões de metros cúbicos, sendo que cerca de 3,2 bilhões de metros cúbicos na pequena açudagem e 2,6 bilhões de metros cúbicos nos grandes açudes (maiores que 50 milhões de metros cúbicos).

O grande problema da pequena açudagem é a eficiência hidráulica que é seriamente comprometida devido às perdas por evaporação serem muito mais elevadas. Segundo Araújo *et al.* (2003), muitos entre os pequenos açudes têm bacia hidráulica bastante plana, com relação à topografia, e em cerca de três meses depois do fim da estação chuvosa estes açudes podem secar completamente. Outro problema da pequena açudagem é o assoreamento, segundo Wiegand (2009) os pequenos açudes retêm mais sedimentos do que os grandes açudes. Considerando-se a importância econômica, social e cultural dos pequenos açudes para o semiárido brasileiro e os modernos instrumentos de gestão de recursos hídricos vigentes no País, torna-se necessário discutir, estudar e pesquisar seu papel no atual contexto.

Tundisi e Matsumura-Tundisi (1995) destacam a grande importância de estudos limnológicos e sanitários em reservatórios, pois constituem informações básicas que servem para providenciar medidas de proteção da qualidade da água.

Para a realização de estudos de qualidade de água em reservatórios é necessário que se faça um monitoramento de diversos parâmetros físico-químicos e biológicos que caracterizem a qualidade do corpo hídrico estudado, permitindo verificar o grau e a intensidade de contaminação das águas. O monitoramento da qualidade de água é uma ferramenta importante tanto para o controle da qualidade do corpo hídrico quanto para definir os programas e as atividades para a manutenção e a melhoria da qualidade da água de reservatórios. Dentre os principais parâmetros, de caráter limnológico, a serem monitorados para controle da qualidade de água podemos citar: turbidez, sólidos totais, DQO, DBO, pH, oxigênio dissolvido, clorofila “a” e os nutrientes nitrogenados e fosforados. Os nutrientes nitrogenados e fosforados são de grande importância para os problemas relacionados à eutrofização, pois são os principais nutrientes a serem controlados, em razão da essencialidade à produção de fitoplâncton.

As principais fontes poluidoras da pequena açudagem no semiárido são: a presença de animais nas margens dos açudes, onde defecam e urinam nas águas dos açudes, os efluentes domésticos (lavagem de roupas, águas utilizadas nas atividades domésticas, etc), o desmatamento da mata ciliar,

que protege os açudes contra o assoreamento e da entrada de matéria orgânica, a presença de lixo ao ar livre e o uso de insumos agrícolas. As condições socioeconômicas das comunidades vizinhas, a geomorfometria da bacia, dentre outros fatores, interferem na qualidade de água dos reservatórios (DI BERNARDO, 1995; STRASKRABA & TUNDISI, 2000).

A definição de qualidade da água está associada ao uso. Para consumo humano, a legislação brasileira, por meio da Portaria 518, do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004, dispõe que “toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água”, e define como água potável “aquela cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendem ao padrão de potabilidade e que não ofereça risco à saúde” (BRASIL, 2004). No semiárido brasileiro, a maioria dos açudes tem também como função fornecer água para a dessedentação dos animais e para produção de alimentos seja por meio da irrigação ou cultivando na vazante. Estas atividades se não forem realizadas de forma adequada, podem comprometer a qualidade da água armazenada nos reservatórios. A dessedentação dos animais ocorre diretamente na fonte, e muitas vezes defecam e urinam nas águas dos açudes. Nestes casos, o ideal seria que as propriedades localizadas às margens dos açudes dispusessem de cercas e de bebedouros para evitar o contato dos animais com a água, reduzindo os riscos de contaminação. A contaminação das águas também pode ocorrer pelo uso inadequado de agroquímicos como fertilizantes e pesticidas aplicados nas lavouras.

Baseado no pressuposto de que os estudos para pequena açudagem no Nordeste ainda são escassos, principalmente com relação à qualidade de água, a presente pesquisa buscou conhecer os processos dinâmicos que ocorrem nos pequenos açudes em estudo, adquirindo conhecimentos e levantando dados a fim de um melhor manejo e gerenciamento dos recursos hídricos de pequenos açudes.

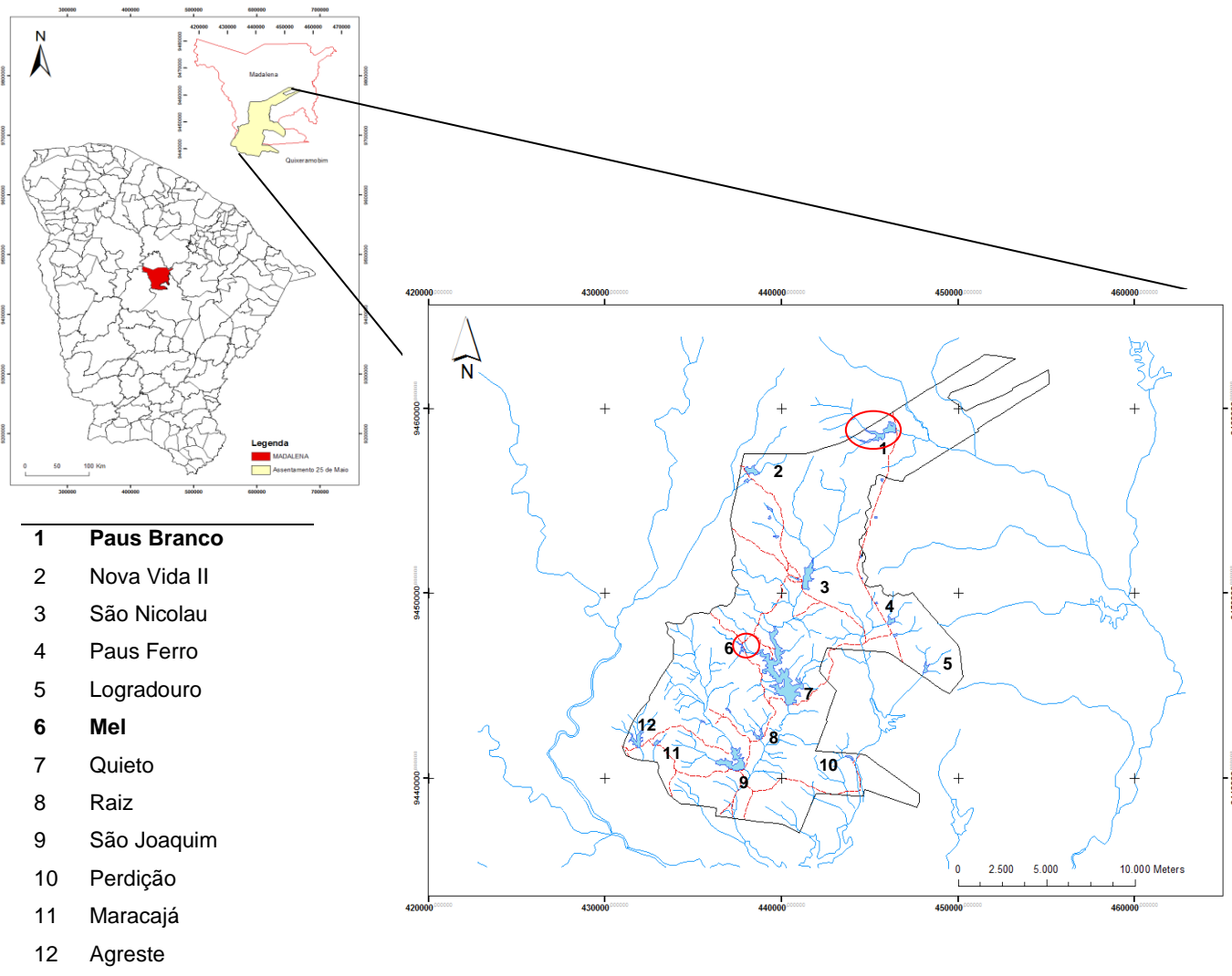
O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar o estado trófico e a qualidade da água de pequenos reservatórios do semiárido cearense. Para isso realizou-se estudo de caso nos pequenos açudes de Paus Branco e Mel, localizados na área do assentamento 25 de Maio. São objetivos específicos desta pesquisa:

- a) analisar a variação sazonal das características físico-químicas e biológicas da água dos pequenos reservatórios Paus Branco e Mel;
- b) caracterizar, segundo critérios limnológicos, os açudes Paus Branco e Mel, através do Índice de Estado Trófico (IET).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização da Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido no assentamento 25 de Maio, que possui açudes de pequeno e médio porte, dispostos em duas sub-bacias hidrográficas que são afluentes da bacia hidrográfica do rio Banabuiú. O assentamento 25 de Maio possui uma área total de 22.992 ha e se encontra inserido nos limites de três municípios, Madalena (maior parte do território do assentamento), Boa Viagem e Quixeramobim. Possui doze açudes que abastecem a população, nos quais onze açudes são de pequeno porte e um é de médio porte, segundo a classificação de Lima Neto *et al.* (2011) e Malveira *et al.* (2011). A Figura 1 representa a área do local de estudo com os açudes estudados.



**Figura 1** – Mapa do Estado do Ceará, com destaque no Município de Madalena, onde se situa a maior parte do Assentamento 25 de Maio, com os açudes numerados, e os açudes Paus Branco e Mel destacados.

Não há registros de estudos limnológicos e sanitários nos açudes do assentamento 25 de Maio, o que dificulta ou até mesmo impede a implementação de medidas racionais de manejo, objetivando evitar a deterioração acelerada dos mesmos.

A bacia situa-se sobre embasamento cristalino, região de solos rasos, a cobertura vegetal é de Caatinga arbustiva densa e floresta caducifolia espinhosa, vegetação típica da região, com presença de muitas espécies de marmeleiro (IPECE, 2009). Predomina o clima quente semiárido, segundo classificação de Köppen, caracterizado por um período seco e quente e um inverno mais ameno e chuvoso, as temperaturas são altas durante todo o ano, com média anual acima de 18 °C, e grandes amplitudes térmicas diárias e anuais. As temperaturas médias estão entre 26 a 28 °C, com período chuvoso concentrado entre os meses de Janeiro a Maio, pluviosidade média de 692 mm anuais e taxa potencial de evapotranspiração superior a 2000 mm anuais, devido à elevada temperatura ambiente e à intensa radiação solar, características da região (IPECE, 2009).

### **Determinação da Qualidade de Água dos Reservatórios**

Foram definidos três pontos de cada açude em estudo. Os pontos P1, P2 e P3, são referente ao açude Paus Branco (Figura 1). O ponto P1 foi definido por causa da presença de macrófitas, que não permitia a passagem do barco para os tributários, com as coletas sendo realizadas, então, na confluência dos dois tributários do açude Paus Branco. Os pontos P2 e P3, foram definidos no meio e próximo da barragem do açude, respectivamente. Os pontos P4, P5 e P6, são referente ao açude Mel (Figura 1). O ponto P4 fica no tributário “esquerdo”, o ponto P5 fica no tributário “direito” e o ponto P6 fica próximo a barragem do açude.

As amostragens foram realizadas sempre no período da manhã e início da tarde, entre 8:00h e 14:00h. A frequência das coletas de água dos açudes foi mensal em todos os pontos de amostragem, durante o período de abril a outubro de 2010, abrangendo um ciclo hidrológico, período chuvoso, de abril a junho, e período seco, de julho a outubro. As coletas seguiram a metodologia descrita no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2005).

Para a coleta das amostras de água foi utilizado um barco a remo e foram coletadas com amostrador tipo “Van Dorn” na profundidade até que o disco de Secchi desaparecesse, ou seja, na zona limnética, que é a região do açude em que a luz consegue penetrar.

Em cada ponto de amostragem o coletor era lavado algumas vezes com a água do próprio local. As amostras eram sifonadas em recipientes apropriados e devidamente identificados. Para a avaliação microbiológica, as amostras foram acondicionadas em frascos estéreis de polietileno, brancos e opacos,

de boca larga e protegidos com papel alumínio. Todas as amostras foram acondicionadas em caixas isotérmicas com gelo para se manter à temperatura constante de 4 °C, durante todo período de coleta que levava, normalmente 6 horas. Durante o procedimento de coleta das amostras foram determinados, ainda no açude, a turbidez, a condutividade elétrica, o oxigênio dissolvido, o pH e a temperatura do ar e da água.

Após todas as coletas nos açudes, as amostras foram transportadas para o laboratório de Efluentes e Qualidade de Água (EQUAL), no Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), da Universidade Federal do Ceará (UFC). No laboratório as amostras foram acondicionadas na geladeira, para posteriores determinações. As variáveis quantificadas foram definidas conforme sua importância para a caracterização da qualidade física, química e sanitária e do grau de trofia dos corpos aquáticos. As variáveis que foram determinadas nos açudes foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), turbidez (Turb) e transparência (Transp). As variáveis físico-químicas determinadas no EQUAL foram: nitrogênio total (NT), nitrito ( $\text{NO}^{2-}$ ), nitrato ( $\text{NO}^{3-}$ ), N-amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), fósforo total (PT), ortofosfato solúvel (oP), DQO,  $\text{DBO}_{5,20}$  e sólidos totais (ST). As determinações seguiram as indicações de APHA (2005).

Os parâmetros biológicos determinados nos três pontos de cada açude em estudo foram: concentração de clorofila "a" (Cla), que representa de forma indireta a biomassa do fitoplâncton presente nas amostras, e coliformes termotolerantes (CTT). As determinações foram realizadas no Laboratório de Efluentes e Qualidade de Água (EQUAL), no LABOMAR e no Laboratório de Eletroquímica e Corrosão Microbiana (LECOM), do Departamento de Química, da Universidade Estadual do Ceará, respectivamente. As determinações seguiram as indicações de APHA (2005).

A Tabela 1 mostra todos os parâmetros físico-químicos e biológicos determinados, seguido do método utilizado e o número do método que consta no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2005).

**Tabela 1** – Parâmetros físico-químicos utilizados para o monitoramento dos açudes, seguido dos métodos utilizados nas determinações e sua referência no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

PARÂMETROS	MÉTODO	Nº DO MÉTODO
pH	pHmetro portátil	-
Turbidez	Turbidímetro	2130-B
Condutividade Elétrica (CE)	Condutivímetro	2510-B
Oxigênio Dissolvido (OD)	Oxímetro	4500-G
Fósforo Total (PT)	Método da Digestão com Persulfato seguido do Método do Ácido Ascórbico	4500-A,B,E

Nitrogênio Total (NT)	Método do Persulfato para Determinação Simultânea do Nitrogênio Total e Fósforo Total seguido do Método da Redução de Nitrato a Nitrito em Coluna de Cádmio	4500-P.J
Clorofila “a” (Cla)	Método Espectrofotométrico, com solvente de extração Acetona 90%.	
Coliformes Termotolerantes Totais (CTT)	Método da Fermentação em Tubos Múltiplos	
Sólidos Totais (ST)	Método Gravimétrico	2540-B
DQO	Método Colorimétrico com Dicromato de Potássio	5220-B
DBO <sub>5,20</sub>	Método da Diluição e incubação a 20°C e 5 dias	5210-B

### *Coliformes termotolerantes*

Para a avaliação dos termotolerantes utilizou-se a técnica do número mais provável (NMP) de microrganismos, também conhecido como técnica da fermentação em tubos múltiplos. Foram utilizados três inóculos da amostra (10,0; 1,0; 0,1) e para cada inóculo fez-se triplicata contendo 10 mL de Caldo Lactosado (CL) com tubos de Durhan invertidos, os quais foram posteriormente incubados a 35-37°C por 24 horas, em estufa bacteriológica. Os tubos que apresentaram formação de gás no CL, tiveram alíquotas semeadas em tubos contendo 5 mL de Caldo Verde Brilhante 2% (VB) contendo tubos de Durhan invertidos para o crescimento de coliformes totais. Em uma segunda etapa, os tubos positivos para VB foram transferidos para tubos contendo Caldo EC Broth (meio confirmatório para coliformes termotolerantes) e imersos em banho-maria a 45°C, durante 24 horas. A positividade do teste foi confirmada pela observação da produção de gás no interior dos tubos de Durhan. Os resultados foram comparados com os valores da tabela do valor do NMP, conforme estabelecido pela Norma Internacional ISO 9308-1, com nível de confiança de 95% (APHA, 2005).

### **Índice de Estado Trófico – IET**

O índice de estado trófico (IET) foi desenvolvido com a finalidade de classificar os corpos d’água, de lagos e reservatórios, em diferentes graus de trofia, facilitando assim, a comunicação ao público sobre o estado de trofia de um determinado ecossistema aquático.

O IET(M) foi calculado segundo a equação proposta por Lamparelli (2004), para ambientes tropicais, utilizando as equações que consideram as medidas de transparência (profundidade de extinção da transparência do disco de Secchi), concentração de clorofila “a” e de fósforo total. Foram determinados os IETs de cada mês, para os açudes Paus Branco e Mel, em todo período de estudo. O IET de Lamparelli (2004) possui as equações:



$$\text{IET(Transp)} = 10\{6 - [\text{LN(Transp)/LN(2)}]\} \quad (1)$$

$$\text{IET(PT)} = 10\{6 - [1,77 - 0,42(\text{LN(PT)/LN(2)})]\} \quad (2)$$

$$\text{IET(CLa)} = 10\{6 - [0,92 - 0,34(\text{LN(CLa)/LN(2)})]\} \quad (3)$$

$$\text{IET(M)} = \{\text{IET(Transp)} + 2[\text{IET(PT)} + \text{IET(CLa)}]\}/5 \quad (4)$$

Nas equações (1) a (4): CLa é a concentração de clorofila “a”, medida à profundidade de extinção da transparência do disco de Secchi, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ; PT é a concentração de fósforo total, medida à profundidade de extinção da transparência do disco de Secchi, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ; Transp é a medida de transparência da água através do disco de Secchi, em metros; M = IET médio e ln = logaritmo natural.

A Tabela 2 indica as classificações dos níveis tróficos, a partir do cálculo do índice de estado trófico de Lamparelli (2004).

**Tabela 2** - Classificação adotada pelo Índice de Estado Trófico, segundo Lamparelli (2004).

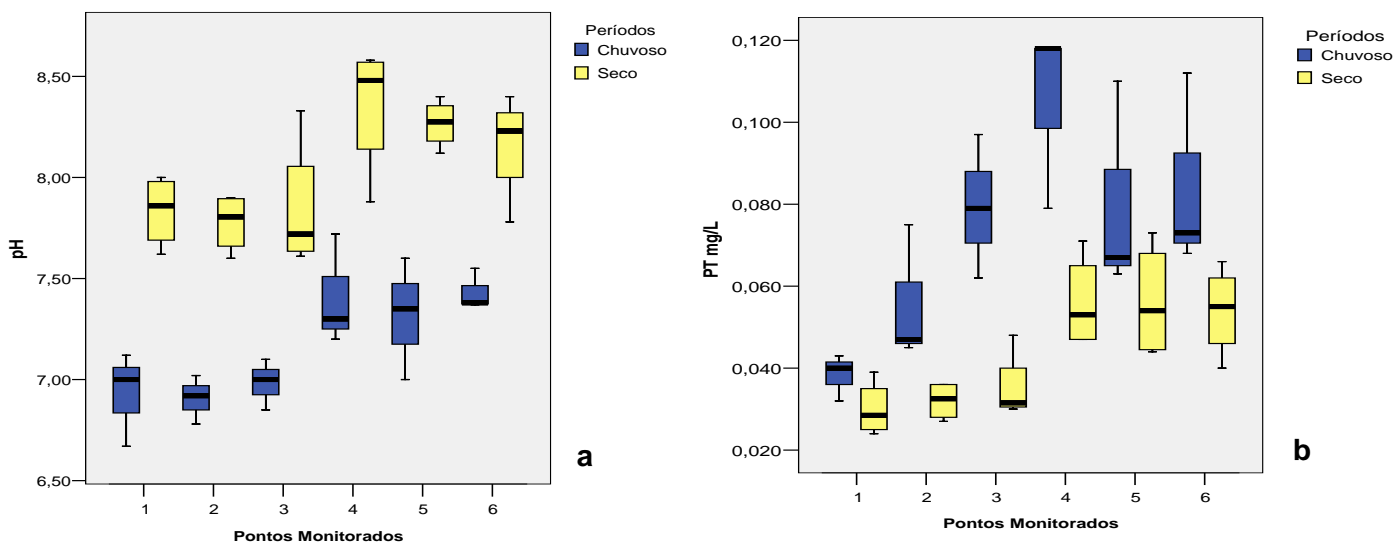
<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>VALOR</b>
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$
Hipereutrófico	$\text{IET} \geq 67$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise Sazonal das Variáveis Físico-Químicas nos Pequenos Reservatórios

A Figura 2a apresenta a dinâmica do pH nos períodos chuvoso e seco. As águas mantiveram médias acima de 6,9 em todos os pontos dos dois açudes, no período chuvoso, e acima de 7,7, no período seco. O período seco apresenta os maiores valores de pH, em todos os pontos dos açudes Paus Branco e Mel.

Os valores de pH maiores no período seco, se relacionam à maior atividade das algas na assimilação do CO<sub>2</sub> durante o processo de fotossíntese liberando radicais hidroxilas (OH<sup>-</sup>) (TUNDISI, 2005). Margalef (1983) relaciona a elevada taxa fotossintética à elevada biomassa algal, refletindo-se na elevação do pH, uma vez que ocorre a redução dos níveis de gás carbônico, ocasionando assim a oscilação do pH. Esta mesma situação foi verificada por Pereira (2003) e Lima (2004), que associaram a elevação do pH ao florescimento de algas em alguns reservatórios do Rio Tietê – SP.

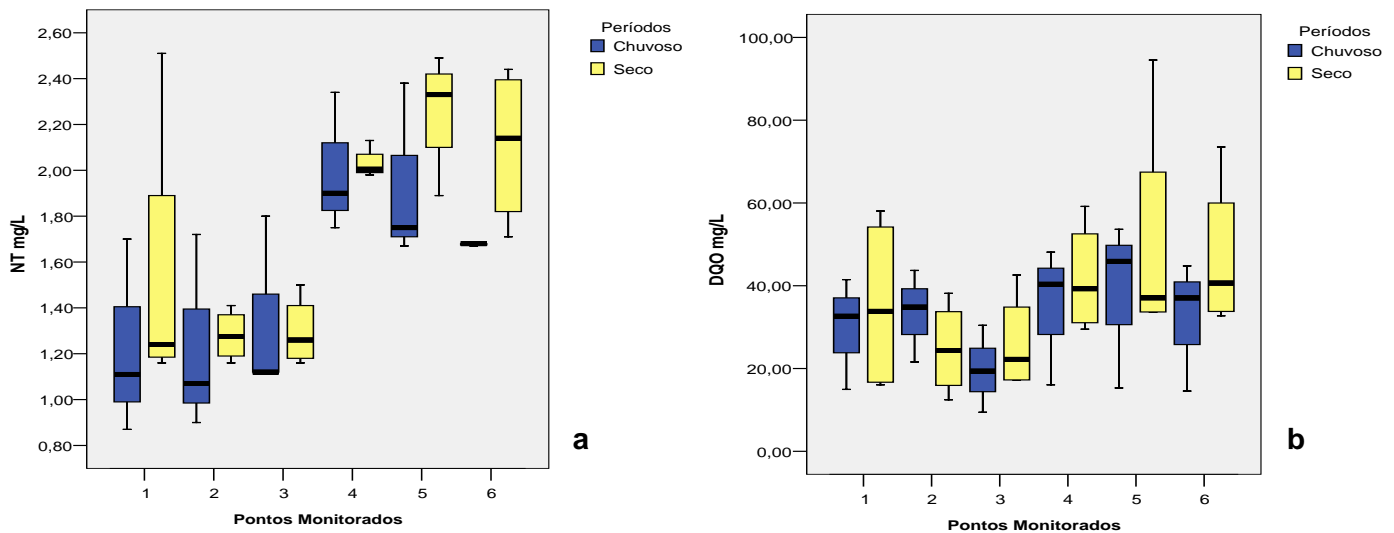


**Figura 2** – Variação espacial e temporal de pH (a) e Fósforo Total (b) no período de abr/10 a out/10.

Na Figura 2b mostra-se que os maiores valores de fósforo total foram registrados no período chuvoso, o que pode ser explicado devido à entrada de fósforo junto à matéria orgânica e adsorvido no sedimento, através do escoamento superficial, além da ressuspensão do material de fundo dos açudes, que contém fósforo e libera-o para coluna d'água, a partir da turbulência causada pelas águas das chuvas que entram nos açudes.

As próprias características morfométricas dos açudes do semiárido nordestino, com grandes áreas e pouca profundidade, como também as características das bacias onde estão inseridos, tais como solos rasos suscetíveis à erosão nos períodos chuvosos, contribuem para o aporte externo de nutrientes, resultando em elevações de fósforo total nesses ambientes (VIEIRA, 1999; STRASKRABA & TUNDISI, 2000). Barbosa (2002), estudando os parâmetros limnológicos no açude Taperoá II, na Paraíba, também verificou um padrão sazonal de fósforo total semelhante aos registrados nos açudes Paus Branco e Mel.

As variações temporais das concentrações de nitrogênio total são apresentadas na Figura 3a. Para os pontos P1 (açude Paus Branco), P5 e P6 (açude Mel) as maiores concentrações de nitrogênio total foram registradas no período seco. Para os pontos P2 e P3 (açude Paus Branco), P4 (açude Mel) as maiores concentrações de nitrogênio total foram registradas no período chuvoso. Há indicativo de fontes pontuais de entrada de matéria orgânica, consequentemente de nitrogênio, sendo no P1 (entrada do açude Paus Branco) através das macrófitas mortas, no P5 e P6 (açude Mel) através das fezes de animais, principalmente do gado bovino, que vão beber água nas margens do açude. Nos pontos em que há indicativo de que o nitrogênio tem uma origem pontual, a variação entre os períodos chuvoso e seco é maior do que quando o nitrogênio é supostamente adquirido, principalmente da atmosfera.

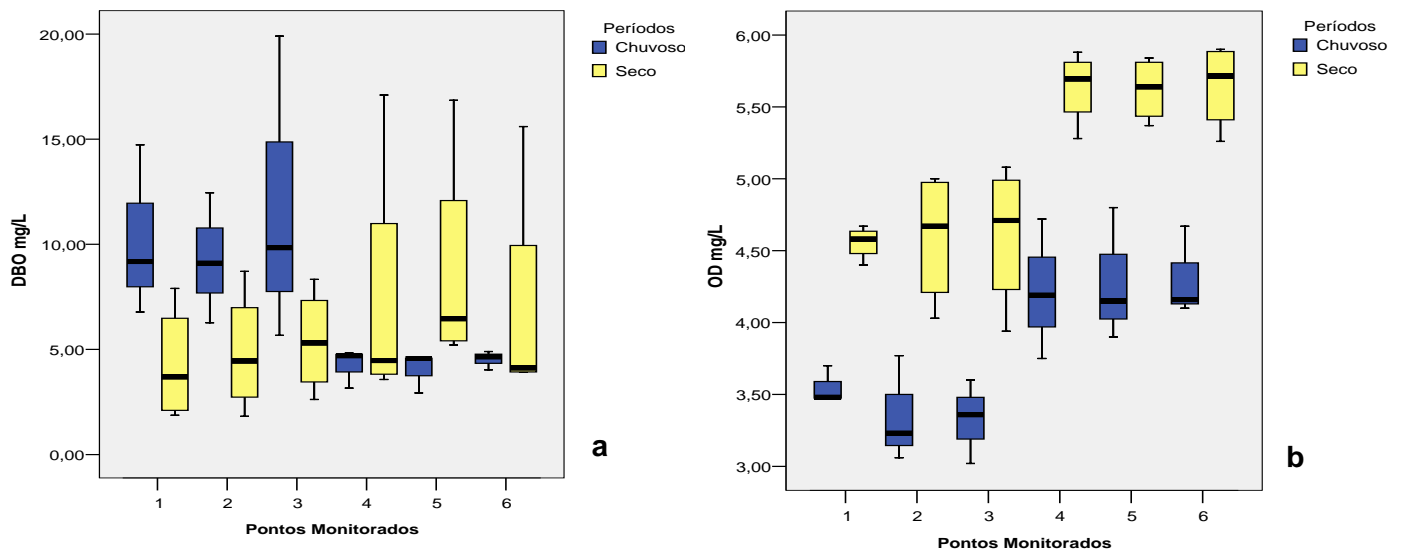


**Figura 3** – Variação espacial e temporal de **Nitrogênio Total(a)** e **DQO(b)** no período de abr/10 a out/10.

A Figura 3b mostra a diferença entre os períodos chuvoso e seco, para a demanda química de oxigênio (DQO), para os pontos monitorados. De um modo geral, as maiores concentrações registradas foram no período seco. O mesmo comportamento, de concentrações maiores de DQO no período seco, também foi registrado por Câmara (2007), estudando o açude Armando Ribeiro e o canal Pataxó, no

Rio Grande do Norte. As maiores concentrações de DQO, no período seco, podem dever-se à redução do volume de água dos açudes, concentrando a matéria orgânica não degradada, fenômeno que pode ser denominado de *evapoconcentração*, expressão empregada por Hamilton & Lewis (1990).

Com relação à demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>), as maiores concentrações, no açude Paus Branco (P1, P2 e P3), foram no período chuvoso, para o açude Mel (P4, P5 e P6), as maiores concentrações, foram no período seco, como mostra a Figura 4a. Pacheco (2009), estudando o açude Acarape do Meio, no Ceará, também registrou em três dos sete pontos monitorados resultados de concentrações de DBO<sub>5,20</sub> maiores no período seco, assim como registrado no açude Mel, neste trabalho.



**Figura 4** – Variação espacial e temporal de **DBO(a)** e **Oxigênio Dissolvido(b)** no período de abr/10 a out/10.

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

A Figura 4b apresenta a variação espacial e temporal de oxigênio dissolvido nos açudes Paus e Mel. Os maiores valores de oxigênio dissolvido foram no período seco, no açude Paus Branco a maior média foi no ponto P3 (4,61 mg/L); no açude Mel, a maior média foi no ponto P6 (5,64 mg/L). De um

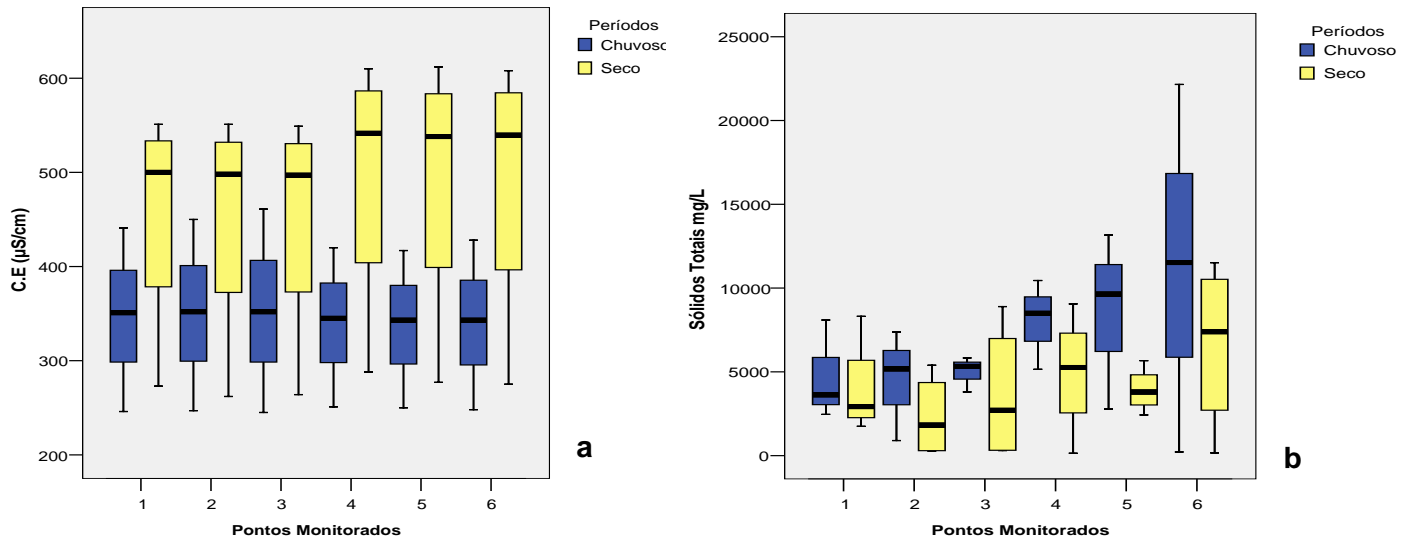
modo geral houve pequenas variações, de oxigênio dissolvido, no açude Mel, durante o período seco. A maior concentração de oxigênio dissolvido no período seco pode ser devida ao aumento da concentração da biomassa algal, que produz mais oxigênio na fotossíntese. A concentração de clorofila “a” aumentou durante o período seco, em ambos os açudes estudados, como mostrado na Figura 8. O aumento da concentração de clorofila “a” nos açudes Paus Branco e Mel contribuiu para o aumento da concentração de oxigênio dissolvido nos mesmos. Esteves (1998) considera que em ambientes aquáticos, as principais fontes de oxigênio são as atividades fotossintéticas das algas e macrófitas associadas à difusão e à turbulência.

A condutividade elétrica é diretamente proporcional à quantidade de sais presentes em uma solução, quanto maior for seu conteúdo, maior será a condutividade (VON SPERLING, 1999). A condutividade elétrica permite analisar o processo de renovação das águas num reservatório.

Na Figura 5a observa-se que a condutividade elétrica variou entre os períodos chuvoso e seco, em todos os pontos. Os maiores valores de condutividade elétrica foram registrados no período seco, que devido à estiagem intensa, os íons se tornaram cada vez mais concentrados, aumentando a condutividade elétrica, ocorrendo *evapoconcentração* (PANOSSO, 1993). A maior média do açude Paus Branco foi no ponto P1, com 456  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e máximo no ponto P2 de 551  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A maior média do açude Mel foi no ponto P4, com 495  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e máximo no ponto P5, de 612  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O mesmo comportamento de condutividade elétrica foi observado por Pacheco (2009), no açude Acarape do Meio, por Vilar (2009), nos açudes Bola I e Namorados, por Ceballos (1995), no açude Epitácio Pessoa.

A condutividade elétrica nos reservatórios nordestinos é de um modo geral elevada, demonstrando o quanto estes ambientes são vulneráveis à salinização (ESTEVES, 1998). Segundo Barbosa (2002) os açudes localizados no semiárido nordestino são vulneráveis a salinização, ocasionada pelas altas taxas de evaporação, regime irregular de chuvas e déficit hídrico, apresentando uma intrincada relação entre solo, relevo, clima e conseqüentemente qualidade e quantidade de água. Outro fator externo ao corpo d’água que deve ser considerado é a capacidade de retenção da água dos reservatórios, que se associa com as altas taxas de evapotranspiração do corpo aquático, as quais estão relacionadas com o tamanho do espelho d’água e a morfometria do açude (VON SPERLING, 1999). Essas características morfométricas favorecem a evaporação com conseqüente redução acelerada do volume de água armazenada nos açudes na estação seca, comportamento comum nos reservatórios do semiárido (TUCCI, 2002). Os açudes Paus Branco e Mel são açudes rasos, com 5,99m e 5m,

respectivamente, e no período seco, os açudes perdem muita água por evaporação que acarreta no aumento da concentração de íons e aumento da condutividade elétrica.



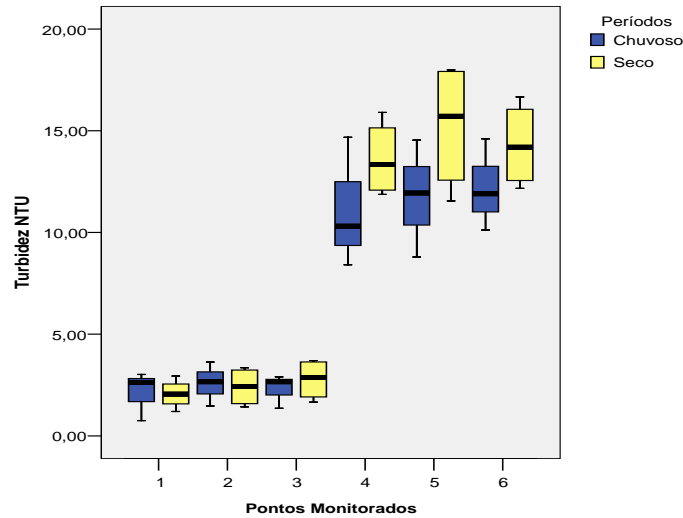
**Figura 5** – Variação espacial e temporal de **Condutividade Elétrica(a)** e **Sólidos Totais(b)** no período de abr/10 a out/10.

As variações temporais de sólidos totais são apresentadas na Figura 5b. De um modo geral, as maiores concentrações de sólidos totais foram registradas no período chuvoso. No açude Paus Branco a maior concentração foi no ponto P1, com 8093 mg/L, e no açude Mel a maior concentração também foi no ponto P6, com 22151 mg/L, no período chuvoso.

O açude Mel possui uma característica que ajuda a aumentar a quantidade de sólidos que escorre para o açude, não há proteção das matas ciliares, as suas margens estão degradadas, facilitando o desprendimento do solo e a formação de sedimentos que escorrem para o açude, por isso os resultados de correlações são mais significativos no açude Mel do que no açude Paus Branco, que possui boa parte de suas matas ciliares preservadas. Os reservatórios de regiões semiáridas tendem a receber elevada carga externa de nutrientes e sedimentos em suspensão, desde sua área de drenagem que escoam as águas das chuvas concentradas em poucos meses do ano, o que favorece processos erosivos do solo. Em geral esses ambientes exibem variações temporais de estado trófico, turbidez e salinidade, controlados principalmente pelo volume de descarga fluvial, e consequente carga externa de nutrientes e sedimentos, e pelo balanço hidrológico de precipitação e evaporação (TUNDISI *et al.*, 2005).

As variações temporais de turbidez são apresentadas na Figura 6. De um modo geral, os maiores valores de turbidez foram registradas no período seco. No açude Paus Branco o maior valor de turbidez

foi no ponto P3, com 3,70 NTU, e no açude Mel, o maior valor de turbidez foi no ponto P5, com 17,99 NTU, durante o período seco.



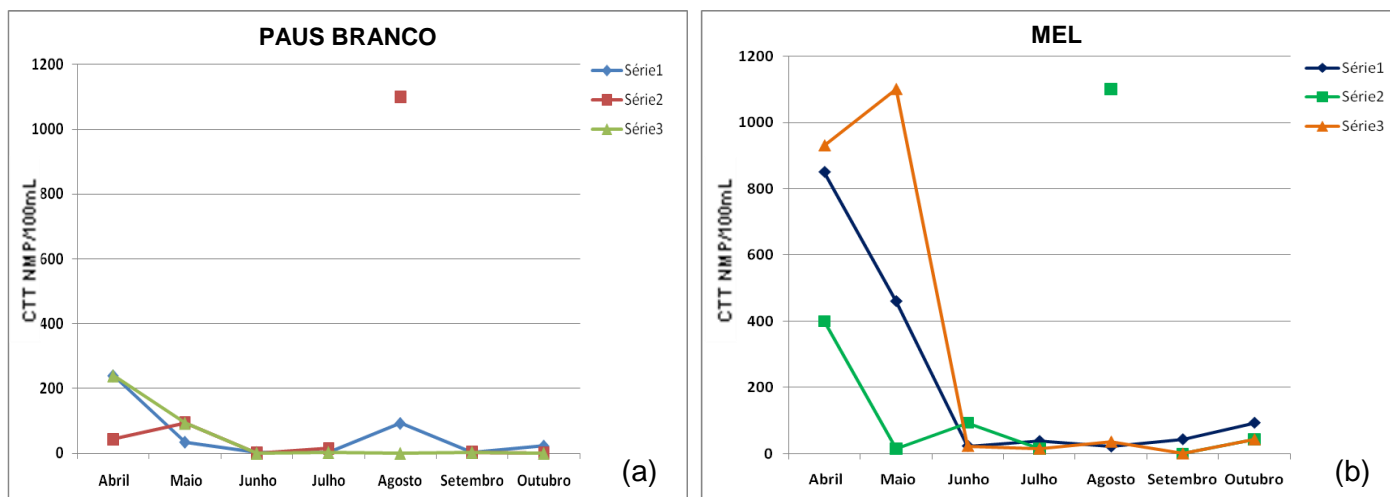
**Figura 6** – Variação espacial e temporal de **Turbidez** no período de abr/10 a out/10.

No período seco, as concentrações de sólidos totais na coluna d'água diminuíram, pois não houve mais chuvas e o único agente de ressuspensão dos sólidos do fundo dos açudes era o vento, mesmo assim a turbidez continuou aumentando, durante o período seco. O fitoplâncton pode ter sido, então, a causa principal da turbidez no período seco. Segundo Esteves (1998) o crescimento de organismos no epilímnio provoca um aumento de turbidez com consequente diminuição da transparência.

### **Análise Sazonal das Variáveis Biológicas nos Açudes Paus Branco e Mel**

A avaliação de microrganismos indicadores de contaminação fecal em sistemas aquáticos destinados a usos múltiplos é fundamental para se conhecer aspectos sanitários, impor limites de utilização das águas brutas e planejar as estratégias de manejo, desenvolvendo medidas de preservação e conservação (CEBALLOS, 1995). As variações temporais das concentrações de coliformes termotolerantes (CTT) são apresentadas na Figura 7.

A maior concentração de coliformes termotolerantes, no açude Paus Branco, foi no ponto P1 com 240 NMP/100mL, durante o período chuvoso, e a maior concentração de coliformes termotolerantes no açude Mel, foi no ponto P6, com 1100 NMP/100mL. A maior concentração de coliformes termotolerantes, no açude Paus Branco, durante o período seco, foi no ponto P2, com 1100 NMP/100mL, e no açude Mel, a maior concentração de coliformes termotolerantes foi no ponto P5, com 1100 NMP/100mL.

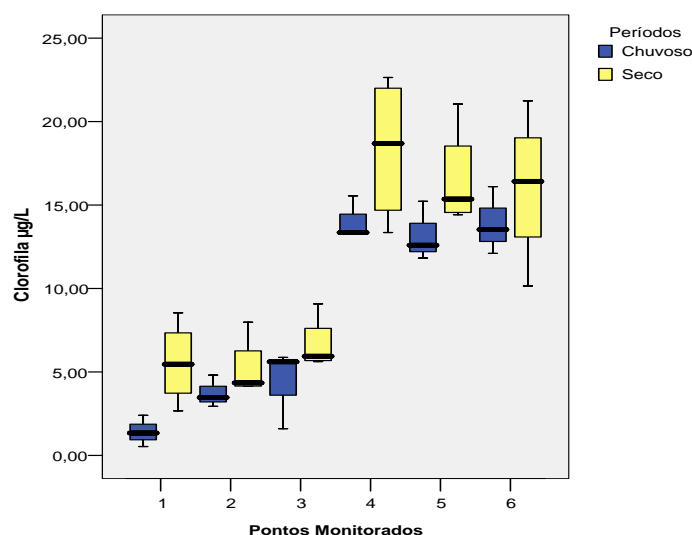


**Figura 7** - Variação temporal de **Coliformes Termotolerantes** nos açúdes Paus Branco (a) e Mel (b), no período de abr/10 a out/10.

A diminuição da concentração de coliformes termotolerantes durante o período seco (Figuras 7a e b), em ambos os açúdes, pode estar relacionado com aumento de pH e de oxigênio dissolvido, devido aos processos fotossintéticos, que cria um ambiente propício a processos de oxidações, em ambientes aquáticos eutrofizados. Alguns trabalhos correlacionam o aumento de pH e de oxigênio dissolvido, por causa da atividade fotossintética, junto a intensa luz solar, sobre o decréscimo de coliformes termotolerantes. Segundo Kapuscinski e Mitchel (1981), as menores concentrações de coliformes termotolerantes durante o período seco pode estar associado ao efeito bactericida da luz solar (KAPUSCINSKI & MITCHELL, 1981). Ocorre ação sinérgica dos efeitos do alto pH, da elevada luminosidade associada às altas taxas de fotossíntese e por tanto de concentrações de oxigênio dissolvido que sob a intensa luz solar formam radicais livres, e todos esses fatores provocam o decréscimo de coliformes (KAPUSCINSKI & MITCHELL, 1981; CEBALLOS, 1995).

As variações temporais das concentrações de clorofila “a” são apresentadas na Figura 8. As maiores concentrações de clorofila “a” foram registradas no período seco. A maior concentração de clorofila “a”, durante o período seco, no açúde Paus Branco foi no ponto P3, com 9,08 µg/L, e no açúde Mel, a maior concentração de clorofila “a” foi no ponto P4, com 22,64 µg/L.

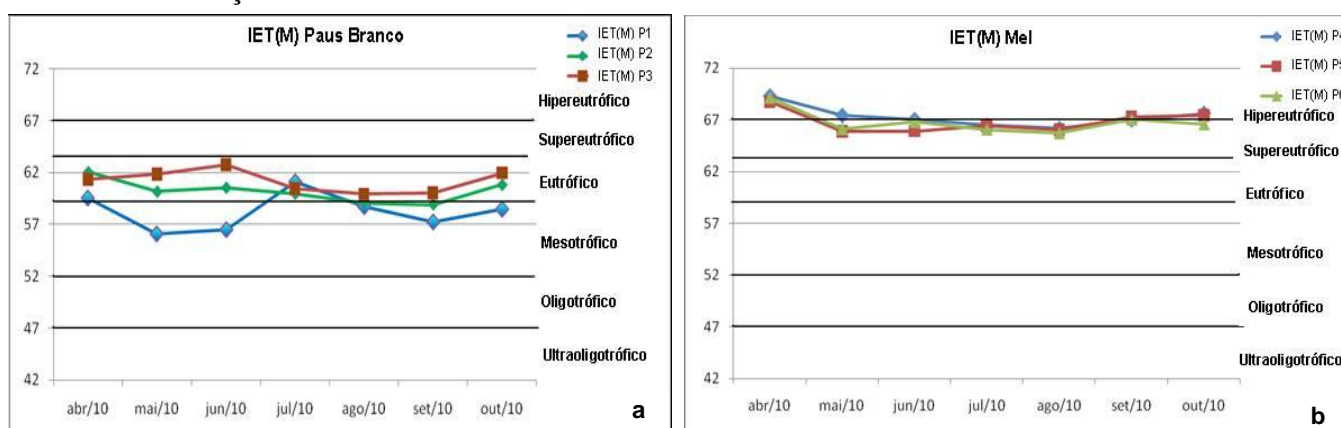




**Figura 8** – Variação espacial e temporal de Clorofila “a” no período de abr/10 a out/10.

### Índice de Estado Trófico dos Pequenos Reservatórios

Foi determinado o IET de Lamparelli (2004), que refletiu melhor as condições tróficas dos açudes Paus Branco e Mel. A variação temporal dos IETs de Lamarelli (2004) quanto à transparência (Transp), fósforo total (PT), clorofila “a” (Cla) e médio (M), para cada ponto nos dois açudes. A classificação do nível trófico por açude é observada nas Figuras 9a e b. Molisani *et al.* (2010), estudando as características limnológicas do açude Castanhão, compararam os índices de estado trófico de Carlson modificado por Toledo jr. *et al.* (1983) e o índice de estado trófico proposto por Lamparelli (2004), e observaram que o índice proposto por Lamparelli (2004) refletia melhor as condições tróficas encontradas no açude.



**Figura 9** – Classificação trófica dos açudes Paus Branco (13a) e Mel (13b) através da aplicação do Índice de Estado Trófico de Lamparelli (2004).

O IET de P1 varia de mesotrófico a eutrófico, P2 permanece em quase todos os meses como eutrófico, P3 permanece em todos os meses como eutrófico. O IET de P4, P5 e P6 variam de

supereutrófico a hipereutrófico. Os resultados indicam que os reservatórios podem estar eutrofizados e corroboram com outros resultados de pequenos reservatórios do semiárido nordestino.

As atividades humanas no entorno desses açudes tais como, a criação de animais e a presença destes nas margens dos açudes, o cultivo de vazante, o uso de agrotóxicos pelos assentados, o aterro do lixo ou a sua presença ao ar livre, o despejo das águas usadas nas atividades domésticas no quintal e o desmatamento das matas ciliares dos açudes, podem comprometer a qualidade da água e gerar eutrofização.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- O índice de estado trófico de Lamparelli (2004) indica que os açudes Paus Branco e Mel podem estar eutrofizados, em todos os seus pontos, por se encontrarem nas classificações: eutrófico, para o açude Paus Branco, e entre supereutrófico e hipereutrófico, para o açude Mel.
- Bactérias indicadoras de contaminação fecal (termotolerantes), não apresentam muita resistência aos fatores ambientais em açudes eutrofizados, resultando numa grande redução dos coliformes no período seco, comportamento observado em todos os pontos. Provavelmente a intensa luz solar e um meio bastante oxidativo, com presença de oxigênio dissolvido, fizeram com que a concentração de coliformes termotolerantes no período seco reduzisse muito.
- Os resultados corroboram com outros resultados de açudes do semiárido nordestino e reforçam a hipótese de que as variações sazonais alteram a qualidade da água dos açudes.
- O banco de dados gerado pode ser um importante auxiliar para ações e políticas de gestão desses recursos hídricos.

Como recomendação sugere-se algumas medidas para melhorar a qualidade da água desses reservatórios, tais como:

- A criação e o respeito de uma faixa de proteção ambiental para os açudes, permitindo a manutenção da qualidade da água e a redução do assoreamento dos açudes;
- A criação de **reservatórios de dessedentação**, onde os animais possam saciar a sede, evitando que os mesmo possam degradar a água dos outros pequenos reservatórios destinados ao abastecimento humano; e
- Programas de educação ambiental nas escolas, nos postos de saúde, nas residências e nas reuniões comunitárias, para promover a conscientização sobre a manutenção da qualidade da água dos açudes.

## BIBLIOGRAFIA

- APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21<sup>th</sup> ed. Washington DC, 2005.
- ARAÚJO, J. C. de.; FERNANDES, L.; MACHADO Jr., J. C.; OLIVEIRA, M. R. L.; SOUZA, T. C. Sediments of Reservoir in Semiarid Brazil. In: **Global Change and Regional Impacts**. Berlin: Springer-Verlag. 2003, p.205-216.
- BARBOSA, J. E. **Dinâmica do Fitoplâncton e Codeterminantes Limnológicos nas Escalas de Tempo (Nictemeral/Sazonal) e de Espaço (Horizontal/Vertical) no Açude Taperoá II: Trópico Semi-Árido Paraibano**. 2002, 208f. (Tese de Doutorado) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP.
- BRASIL, Ministério da Saúde - MS. Portaria nº. 518, de 25 de março de 2004. **Diário Oficial**, Brasília, 26 de março de 2004. Seção 1, p.266.
- CÂMARA, F. R. de A. **Demanda Química de Oxigênio, Clorofila *a* e a comunidade Fitoplanctônica como Indicadores da Qualidade da Água no Canal do Pataxó/RN**. 2007, 124f. Dissertação (Mestrado em Bioecologia Aquática), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.
- CEBALLOS, B. S. O. **Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do trópico semi-árido**. 192p, 1995, Tese (Doutorado do Instituto de Ciências Biomédicas)– Universidade de São Paulo, São Paulo.
- DI BERNARDO, L.. **Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento**. Rio de Janeiro: ABES, 1995, 140p.
- ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**, Interciência 2<sup>a</sup> Ed, Rio de Janeiro – RJ, 1998.
- HAMILTON, S. K; LEWIS JR, W. M. Basin morphology in relation to chemical and ecological characteristics of lakes on the Orinoco River flood-plain, Venezuela. **Arch. Hydrobiol.**, 119:393-425. 1990.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Perfil básico municipal de Madalena**. Fortaleza, 2009.
- KAPUCINSKY, R. B. & MITCHELL, R. Solar radiation induces sublethal injury in *Escherichia coli* in seawater. **Appl. Environ. Microbiol.** 670-4, 1981.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento** – 2004, 238f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos), Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo-SP.
- LIMA, D. **Análise da composição, abundância e distribuição da comunidade de fitoplanctônica nos reservatórios do sistema em cascata do médio e baixo Tietê/SP**. 2004, 312f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP.
- LIMA NETO, I. E.; WIEGAND, M. C.; ARAÚJO, J. C. (2011) Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semiarid Brazilian basin. **Hydrological Sciences Journal** (no prelo).
- MALVEIRA, V. T. C.; ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A. (2011) Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil. **Journal of Hydrological Engineering**, ASCE (no prelo).
- MALVEIRA, V. T. C. **Pequena Açudagem e Sustentabilidade Hidrológica em Grandes Bacias Semiáridas: Estudo de Caso da Bacia do Açude Orós**. 2009, 121f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil/concentração em Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona. Omega. 1010p. 1983.
- MEDEIROS, P. H. A., VIEIRA, V. P. P. B. Importância da abordagem dos processos hidrosedimentológicos na gestão dos recursos hídricos no semi-árido Brasileiro. In: VIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2006, Gravatá. **Anais**. Gravatá/PE, 2006.

MOLISANI, M. M., BARROSO, H. S., BECKER, H., MOREIRA, M. O. P., HIJO, C. A. G., MONTE, T. M., VASCONCELOS, G. H. Trophic state, phytoplankton assemblages and limnological diagnosis of the Castanhão reservoir, CE, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 22, n.1, p.1-12, 2010.

PACHECO, C. H. A. **Dinâmica Espacial e Temporal de Variáveis Limnológicas e sua Influência sobre as Cianobactérias em um Reservatório Eutrofizado: Açude Acarape do Meio-CE**. 2009, 109f Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.

PANOSSO, R. F. **Influência do regime hidrológico e das características morfométricas sobre algumas variáveis limnológicas de um lago amazônico (Lago Batata, PA) impactado por rejeito de bauxita**. 1993, 119f. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro-RJ.

PEREIRA, R.H.G. **Análise da distribuição, densidade e diversidade de Copepoda Calanoida e Cyclopoida nos reservatórios e tributários do Médio e Baixo rio Tietê e sua correlação com as características limnológicas do 87 sistema**. 289p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlo. 2003.

SILANS, A. M. B. P. Redução da evaporação de açudes – o estado da arte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.2, 101-109, 2003.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. (Ed.). 2000. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. São Carlos: ILEC/IEE. v.9 258p. (Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos).

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

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

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

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI. The Lobo-Broa Ecosystem Research. **Limnology in Brazil. Brazilian Academy of Sciences. Brazilian Limnological Society**. 1995. p. 199-243.

VILAR, M. S. de A. **Condições Ambientais e da Qualidade da Água no Processo de Eutrofização de Açudes em Cascata no Semiárido Paraibano**. 2009, 104f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)-PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba-Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB.

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

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

WETZEL, R.G. **Limnology: lake and river ecosystems**. San Diego: Academic Press. 1006 p. (3ª ed.) 2001.

WIEGAND, M. C. **Proposta Metodológica para Estimativa de Produção de Sedimentos em Grandes Bacias Hidrográficas**. 2009, 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/concentração: Manejo de Bacias Hidrográficas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.