

BREVE DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS EM RESERVATÓRIOS NO ESTADO DO CEARÁ

Francisco de Assis de Souza Filho¹, Walt Disney Paulino¹,
Andrea Becco de Souza¹ e Monica Prado²

Resumo – Este trabalho apresenta o levantamento de diversas variáveis de qualidade da água em reservatórios no Estado do Ceará. Em oito reservatórios foram amostradas variáveis biológicas, fitoplâncton e zooplâncton. Variáveis físico-químicas (condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido) foram amostradas em dezessete reservatórios. Foi feita uma análise de estratificação de densidade desses lagos e verificou-se a sua estabilidade nas datas de amostragem. Apesar dos reservatórios se mostrarem estratificados por temperatura, a condutividade elétrica apresenta-se homogênea ao longo da vertical, sugerindo serem esses lagos polimíticos.

Abstract – This paper presents monitoring data from several reservoirs in the State of Ceara. Eight reservoirs were monitored for algae and zooplankton determination and seventeen were for physico-chemical variables, dissolved oxygen, conductivity and temperature. The stratification situation of the reservoirs was analysed and the data showed very stable layers. However, the conductivity showed a very homogeneous behavior suggesting that, in fact, the laka are polimitic.

Palavra-Chave – Qualidade da Água, Estratificação, Reservatórios

¹ Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Av. Guanambi, 1770 – Fortaleza, CE – CEP 60040-520, Tel: (85) 2576662 e-mail: assis@fortalnet.com.br

² Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Almeida Prado, 271 – Cidade Universitária, São Paulo, SP – CEP 05508-900, Tel: (11)8185549 e-mail: mporto@usp.br

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a análise de parâmetros da qualidade da água de reservatórios no estado do Ceará. São apresentados levantamentos biológicos das espécies de algas e zooplâncton presentes em oito reservatórios. As variáveis físico-químicas amostradas foram temperatura, condutividade e concentração de oxigênio dissolvido, medidas em dezesseis reservatórios.

Foi analisada também a estabilidade da estratificação observada nos dezesseis reservatórios nas datas de amostragem. Foram observadas algumas bastante estáveis mas, o perfil vertical de condutividade elétrica mostrou-se bastante homogêneo. Isso pode ser uma indicação de que esses reservatórios permanecem estratificados no período diurno e misturam à noite devido à redução da temperatura do ar. Seu comportamento seria polimítico, dando características de homogeneidade em outras variáveis que não têm seu comportamento alterado pela mecânica da estratificação diurna.

LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

Os organismos planctônicos são a base das cadeias alimentares: Ayres de Souza, Caxitoré, Jaburu I, Mundaú, Pacoti, Patu, Pentecoste e Riacho do Sangue.

A presença de algas e suas características de ocorrência podem servir como indicadores do estado trófico do lago, além de indicar possíveis fontes de chegada de nutrientes no lago. Assim, forte presença de algas azuis são indicações de sistemas limitados por nitrogênio, ocorrência frequentemente ligada à poluição dos mananciais por esgoto. Já aumentos da população de algas sem que haja presença de algas azuis é uma indicação de sistemas limitados por fósforo, cuja causa mais provável de chegada de nutrientes ao reservatório são as áreas agrícolas.

Presença excessiva de alga na água pode representar problemas para sua utilização mesmo que não produzam toxinas prejudiciais à saúde humana e de outros animais. Podem liberar compostos capazes de prejudicar esteticamente a qualidade das águas no que se refere ao sabor, cor e odor, além de provocar problemas operacionais nas estações de tratamento de água, como, por exemplo, obstrução de filtros. De forma geral, águas com presença excessiva de algas tendem a causar prejuízos à saúde humana dada a grande probabilidade de formação de subprodutos da cloração como os trihalometanos.

A tabela 1 apresenta os resultados da amostragem de fitoplâncton nos oito reservatórios citados.

Entre as diversas espécies encontradas nos reservatórios foram identificadas espécies de algas que comumente causam problemas relacionados ao gosto e odor da água, obstrução de meios granulares, como filtros das estações de tratamento de água, algumas espécies tóxicas e outras que possuem odores aromáticos.

Anabaena e Aphanizomenon alteram o gosto das águas, obstruem meios granulares e são responsáveis por fenômenos de intoxicação. Deixam a água com o odor de rabanetes, capim ou grama.

Oscillatoria, **Staurostrum** e **Synedra** causam alteração no gosto das águas, obstruem meios granulares e deixam a água com o odor capim ou grama.

Cyclotella e **Trachelomonas** comumente causam obstrução dos meios granulares.

Dictyosphaerium possui odores aromáticos que deixam a água com cheiro de rabanetes, capim ou grama.

Ulothrix deixa a água com odor de capim ou grama.

Mycrocystis é uma alga tóxica que pertence ao grupo das algas azuis. Sabe-se que algumas **cepas** ou linhagens destas algas são produtoras de uma endotoxina, bastante potente, a qual produz morte em uma hora quando inoculada na proporção de 0,5 mg por quilo de peso do animal. Esta toxina recebeu o nome de FDF (é uma eurotoxina).

Os resultados obtidos fornecem dados fundamentais para o controle da qualidade da água, bem como para escolher o tratamento mais adequado para retirada desses organismos, a fim de evitar a intoxicação dos seres vivos usuários destes reservatórios.

Zooplâncton

A tabela 2 apresenta os resultados da amostragem de Zooplâncton nos oito reservatórios citados.

Arcella é um protozoário da classe Sarcodina (amebas) que podem ser comensais ou parasitas. A **Entamoeba coli** é considerada como um comensal. Já a **Entamoeba histolytica** é um parasita do trato digestivo e tecidos de vertebrados terrestres. A patogenia causada por este protozoário é conhecida como disenteria amebiana. A espécie **Diffugia** é também um protozoário da classe Sarcodina, podendo ser ou não um parasita.

Rotifera são comuns em água doce calma, com muita vegetação aquática. Ajudam a manter a água limpa alimentando-se de detritos orgânicos assim como outros organismos. Podem servir de alimento para vermes e crustáceos pequenos. **Bdelloidea**, **Filinia**, **Karatella** e **Lacame** são espécies de rotíferas.

Copepoda talvez sejam os crustáceos mais importantes porque são herbívoros, alimentando-se de fitoplâncton e, portanto, constituindo a base da maioria das cadeias alimentares. Porém, os copépodos também incluem um grande número de formas parasíticas, a maioria ectoparasita de peixes que fazem o elo entre outros animais. Alguns copépodos são hospedeiros intermediários de vermes parasitos do homem e de vários animais. **Cyclopoida** é um tipo de copépoda parasita. **Cladocera** e **Calanoida** são crustáceos filtradores não parasitas.

abela 1: Espécies de fitoplâncton encontradas em diferentes reservatórios do Ceará

SPÉCIE	AYRES DE SOUZA	CAXITORÉ	JABURU I	MUNDAU	PACOTI	PATU	PENTECOSTE	RIACHO DO SANGUE
<i>nabaena</i>	x	x					x	
<i>nkyra</i>		x						
<i>phanizomenon</i>					x			
<i>phanocapsa</i>		x						
<i>ulacoseira</i>		x			x			
<i>lotryococcus</i>		x			x			
<i>entritactus</i>		x						
<i>oelastrum</i>		x			x			
<i>yclotella</i>		x						
<i>ylindrospermopsis</i>		x			x			
<i>Dictiosphaerium</i>		x						
<i>utretamorus</i>		x			x			
<i>loecapsa</i>		x						
<i>ngbya</i>					x			
<i>icrocystis</i>		x			x			
<i>locystis</i>		x						
<i>scillatoria</i>		x	x	x	x		x	
<i>Pseudoanabaena</i>		x			x			
<i>ichroederia</i>		x						
<i>taurastrum</i>	x	x	x	x	x	x		x
<i>ynedra</i>					x			
<i>etraedrum</i>		x						
<i>rachelomonas</i>		x						
<i>llothrix</i>	x	x	x			x	x	x

Tabela 2: Espécies de zooplâncton encontradas em diferentes reservatórios do Ceará

SPÉCIE	AYRES DE SOUZA	CAXITORÉ	JABURU I	MUNDAU	PACOTI	PATU	PENTECOSTE	RIACHO DO SANGUE
<i>rcella</i>		x			x			
<i>delloidea</i>		x			x			
<i>rachionus</i>		x			x			
<i>alanoida</i>		x			x			
<i>eriodaphnia</i>		x						
<i>ladocera</i>	x	x	x	x		x	x	x
<i>opepoda</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>yclopoida</i>		x			x			
<i>aphanosoma</i>		x						
<i>iffugia</i>		x						
<i>ilinia</i>		x						
<i>eratella</i>		x			x			
<i>acane</i>		x			x			
<i>otifera</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>richocerca</i>		x						

LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS

As medições de perfis verticais das variáveis físico-químicas apresentadas a seguir foram realizadas pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) do Estado do Ceará no período de fevereiro a março de 1998 em dezessete reservatórios. São eles: Granjeiro, Coronel, Canoas, Jerimum, Caxitoré, Tejuçuoca, General Sampaio, Frios, Pentecoste, Caracas, Salão, São Mateus, Trapiá I, Colinas, Trici, Gavião, Quicoe.

As medidas foram realizadas sempre no período diurno e neste conjunto de 17 reservatórios. As profundidades variam de 2 a 12 metros. O mapa da figura 1 mostra a localização destes reservatórios.

Condutividade

A figura 2 apresenta os perfis verticais de condutividade elétrica dos 17 reservatórios. Os perfis de condutividade foram medidos em reservatórios com diferentes concentrações médias de salinidade.

A análise destes perfis mostra um comportamento similar, homogêneo, da condutividade e, portanto, da salinidade nos diferentes reservatórios. Não foram verificadas variações significativas nos diferentes perfis analisados e estas variações, quando ocorriam, apresentaram-se bastante suaves. Este fato sugere a ausência de estratificação de densidade devido a salinidade nos reservatórios analisados.

Temperatura

A figura 3 apresenta os perfis de temperatura dos 17 reservatórios. A análise destes perfis mostra três comportamentos básicos. A *primeira classe* de reservatórios apresenta perfis de temperatura uniformes em todo o perfil (Ex: Caxitoré e Gavião). A *segunda classe* apresenta uma variação significativa de temperatura atendendo um suave gradiente de variação de temperatura em todo o perfil e a *terceira classe* caracteriza-se por uma pronunciada variação de temperatura a uma dada profundidade. Não foi observada correlação entre a profundidade dos lagos e as classes anteriormente mencionadas.

A variação brusca da temperatura está associada a uma variação também brusca da densidade da água, gerando ali uma região de forte dissipação da turbulência, importante mecanismo de mistura de constituintes no interior do lago.

Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido apresentou comportamento similar ao da temperatura. Este fato se deveu a estratificação de densidade ocasionada pela variação de temperatura. Os reservatórios com perfis verticais de temperatura aproximadamente uniformes também apresentaram comportamento similar no perfil de oxigênio dissolvido. Isso é resultado de processos de mistura que conseguem atingir toda a coluna d'água, fator somente possível quando não há grandes diferenças de densidade entre a superfície e o fundo.

Figura 1: Mapa de localização dos reservatórios estudados

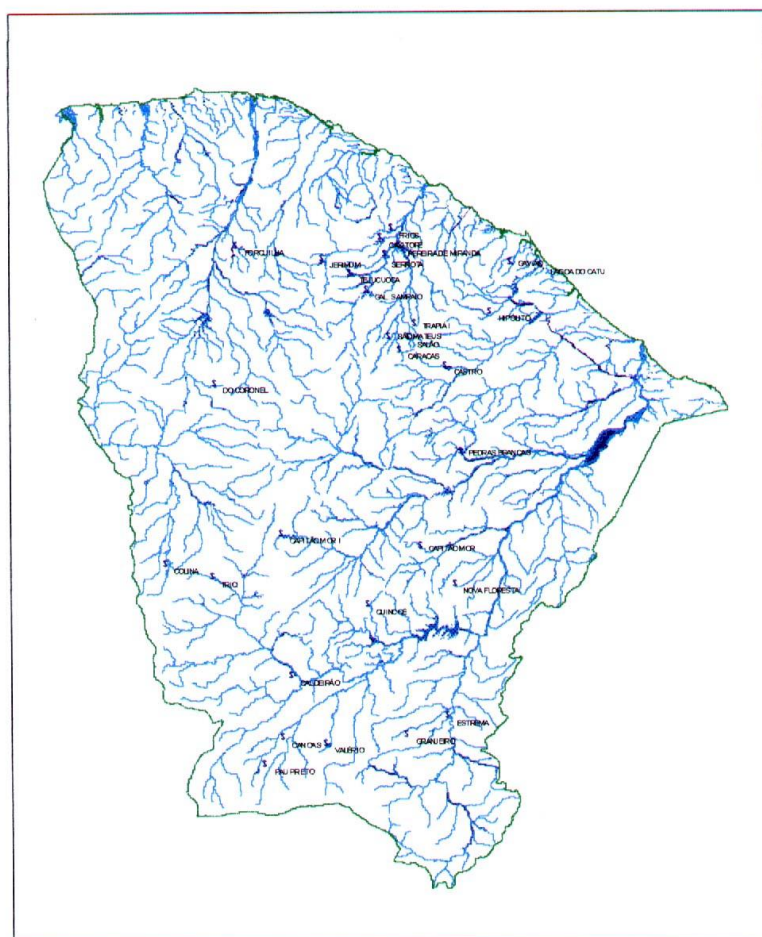


Figura 2: Condutividade Elétrica

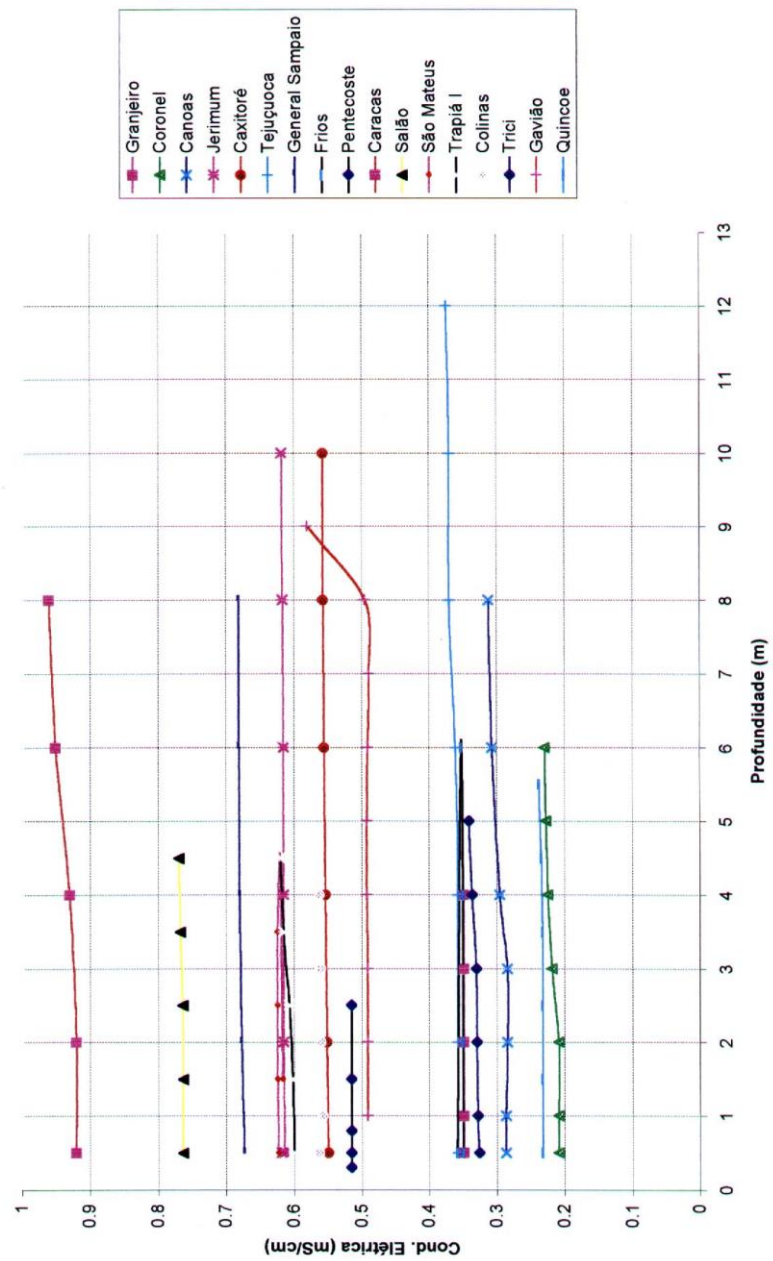


Figura 3: Temperatura da Água

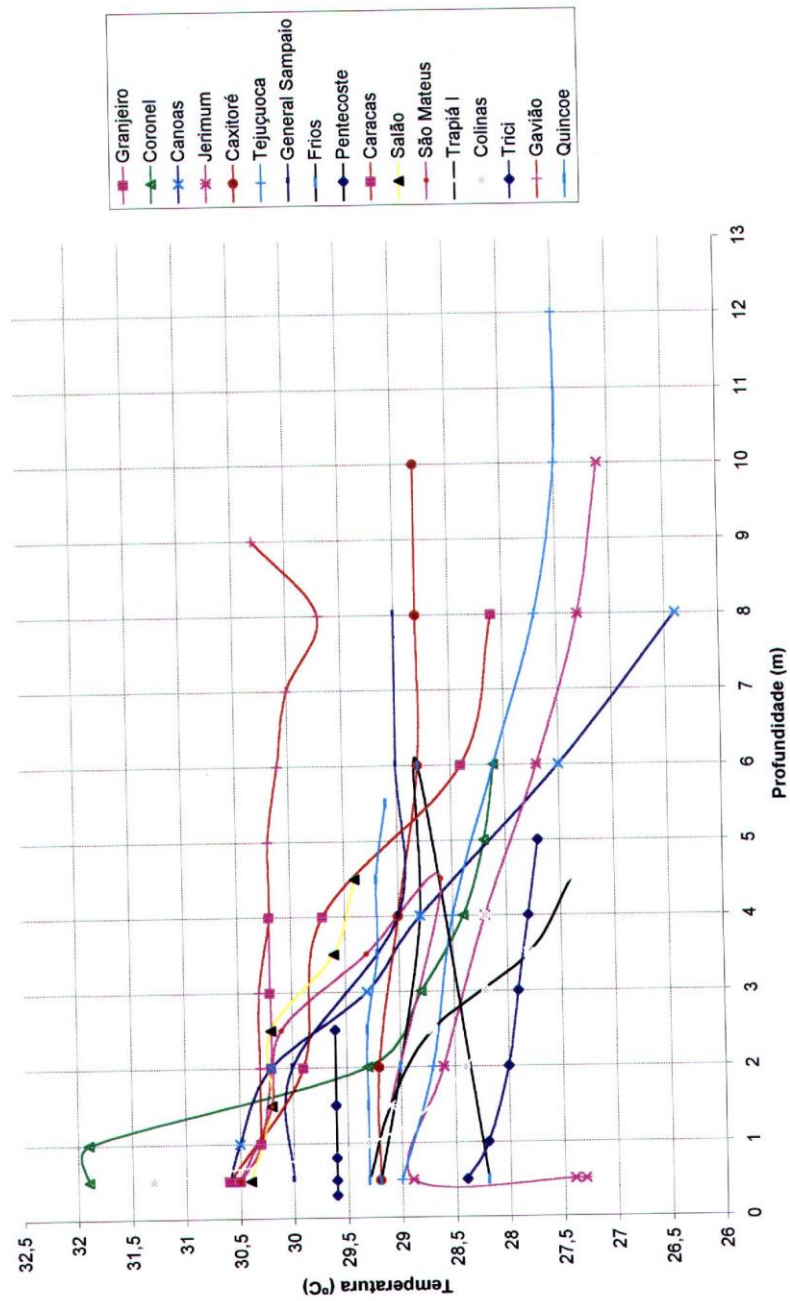
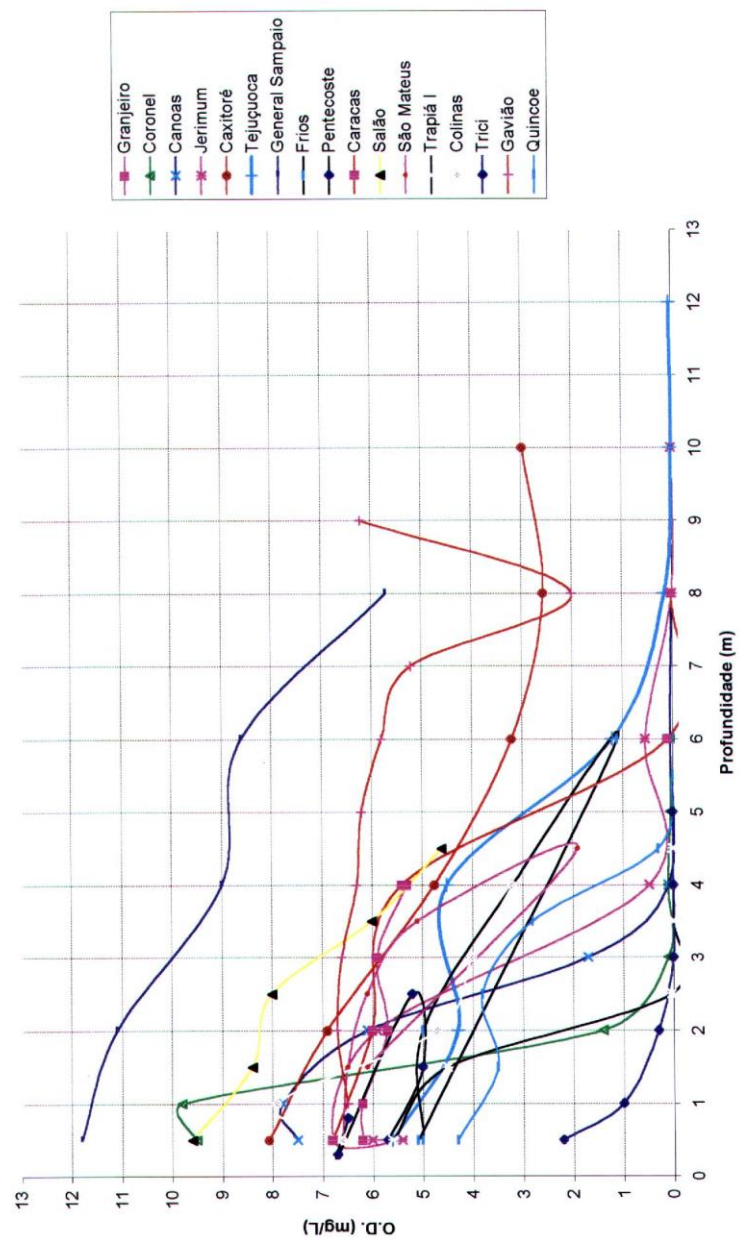


Figura 4: Oxigênio Dissolvido



ANÁLISE DA ESTRATIFICAÇÃO NOS RESERVATÓRIOS

O estudo de estratificação dos reservatórios foi realizado a partir de dois parâmetros básicos e cálculo do número de Richardson, que caracteriza o processo de estratificação, e do cálculo da velocidade de aprofundamento da região misturada quando há variação brusca de densidade devido, por exemplo, à queda da temperatura. A metodologia utilizada foi aquela proposta por Bloss e Harleman (1979).

O efeito da salinidade e temperatura sobre a densidade, de forma isolada, foi levado em consideração com vistas a analisar as alterações proporcionadas devido a cada uma delas.

Metodologia de cálculo da velocidade de aprofundamento, ou penetração

A metodologia de cálculo da velocidade de penetração, assim proposta por Bloss e Harleman (1979), é feita através dos seguintes passos:

1. *Dados Básicos*: conhecer os valores da temperatura, condutividade da região bem misturada e da região logo abaixo do forte gradiente de profundidade, isto é, do termoclina ou quimioclina (h).
2. *Velocidade do vento*: utilizando dados das estações climatológicas, procurou-se representar o vento através da velocidade média do mês seguinte ao da medição.
3. *Cálculo dos sólidos totais a partir da condutividade*: este cálculo é feito a partir de curvas de regressão regionais ou para o reservatório em análise.
4. *Cálculo da densidade na camada superior e inferior*: a partir dos dados observados de temperatura e salinidade, calcula-se a densidade da água.
5. *Cálculo da velocidade de atrito do vento (U^*)*

$$U^{*2} = C_{10} \frac{\rho_{AR}}{\rho_0} W_z^2$$

onde $C_{10} = 1,3 \cdot 10^{-3}$; $\rho_{AR} = 1,2 \text{ kg/m}^3$; ρ_0 é a densidade da água e W_z é a velocidade do vento em m/s.

6. *Cálculo da variação de densidade ($\Delta\rho$)*: diferença entre as densidades da água observadas.
7. *Cálculo do número de Richardson (Ri)*

$$R_i = \frac{gh\Delta\rho}{\rho_0 U_*^2}$$

Onde R_i é o número de Richardson, g é a aceleração da gravidade, h é a profundidade da termoclina, $\Delta\rho$ é a variação da densidade, ρ_0 é a densidade de referência e U_* é a velocidade de strito do vento.

8. *Cálculo da velocidade de penetração (U_e)*

$$U_e = \frac{7,1 - 0,024\sqrt{2R_i}}{3,55 + 0,25R_i^2} U_*$$

A tabela 3 apresenta um resuma dos resultados do cálculo da velocidade de penetração (U_e) e dos valores obtidos para o número de Richardson (R_i). Quanto maior é o número de Richardson, mais estável é a estratificação por densidade. Para baixos números, a maior parte da energia cinética de turbulência introduzida pelo vento é utilizada na camada misturada, provocando mistura a profundidades cada vez maiores. Para números mais altos essa energia é dissipada e pouco contribui para a mistura resultando em baixas velocidades de penetração. Verificam-se altas velocidades de penetração para números de Richardson baixos e ao contrário para números de Richardson altos.

A variabilidade das temperaturas diárias caracteriza as regiões de clima árido e semi-árido. Altas temperaturas diurnas contrastam com temperaturas noturnas mais amenas. A tabela 4 mostra que a variação de temperatura em um dia é muito maior que a variação térmica próxima à região costeira (Fortaleza) é menor, apesar de significativa, do que a variação em regiões anteriores.

Observa-se que o conjunto das medidas realizadas para este estudo ocorreram durante o dia (temperaturas do ar mais elevadas). Este fato, associado à uniformidade do perfil da condutividade em reservatórios, apesar das variações significativas em seu perfil e altos números de Richardson, sugere seu que seu comportamento se dá de forma ESTRATIFICADA durante o DIA e MISTURADA a NOITE.

Com relação ao comportamento do perfil de Oxigênio Dissolvido, este é muito sensível à estratificação. As taxas de respiração junto ao fundo, elevadas datas e alta temperatura, esgotam o oxigênio existente no hipolímnio. No epilímnio somam-se durante o dia a produção de oxigênio fotossintética com as trocas de superfície.

Tabela 3: Cálculo da velocidade de penetração da região misturada sobre a não misturada.

Localidade	Data	TempSup (C)	TempSub (C)	CondSup (mS/cm)	CondSub (mS/cm)	CsaSup (mg/L)	CsaSub (mg/L)	RoSup (kg/m3)	RoSub (kg/m3)	h (m)	Dro (kg/m3)	Wz (m/s)	U* (m/s)	RI	Uev (m/s)	Uev (m/mês)
Arões	17/03/98	31.1	30.0	930	930	685	685	996	996	1.0	0.337	2	0.0025	530	7.34E-09	0.08
as	17/03/98	30.6	26.4	312	284	238	218	996	997	4.5	1.207	2	0.0025	8529	-3.01E-10	0.00
ão Mor	25/03/98	30.1	29.5	705	705	522	522	996	996	1.0	0.180	2	0.0025	283	5.25E-08	0.54
as	05/02/98	30.6	28.1	960	920	706	677	996	996	3.0	0.733	2	0.0025	3453	-8.63E-10	-0.01
o	05/05/98	28.8	28.4	1110	1100	815	807	996	996	2.0	0.114	3	0.0038	159	3.35E-07	3.47
oré	04/02/98	29.2	27.8	557	549	415	409	996	996	2.0	0.403	3	0.0038	562	8.64E-09	0.09
as	27/03/98	31.3	28.2	562	556	419	414	995	996	2.0	0.928	2	0.0025	2914	-1.02E-09	-0.01
xonel	17/03/98	31.9	28.1	229	208	178	163	995	996	3.0	1.143	2	0.0025	5365	-5.29E-10	-0.01
ma	05/02/98	32.6	31.0	196	195	154	153	995	995	3.0	0.508	2	0.0025	2391	-1.20E-09	-0.01
eiro	06/04/98	32.8	29.9	718	641	531	476	995	996	1.0	0.895	2	0.0025	1405	-1.49E-09	-0.02
ilha	29/04/98	31.0	30.2	425	425	319	319	995	996	3.0	0.246	2	0.0025	1158	-1.30E-09	-0.01
lo	26/02/98	29.2	28.2	359	350	272	265	996	996	3.0	0.289	3	0.0038	605	6.22E-09	0.06
ral Sampaio	07/03/98	30.7	29.3	580	454	432	340	996	996	2.0	0.399	3	0.0038	1557	8.99E-09	0.09
leiro	04/02/98	30.0	28.7	693	673	513	499	996	996	3.0	0.381	3	0.0038	1798	5.87E-10	0.01
ito	05/02/98	30.5	30.2	348	348	264	264	996	996	2.0	0.091	2	0.0025	287	5.03E-08	0.52
um	20/04/98	34.6	30.4	1840	1820	1343	1328	995	996	3.0	1.353	2	0.0025	6376	-4.33E-10	0.00
a do Catu	04/02/98	28.9	27.1	618	614	459	456	996	997	3.0	0.5	3	0.0037	1070	-1.69E-09	-0.02
Floresta	08/05/98	30.9	27.0	488	233	365	181	995	1000	2.0	4.5	2	0.0025	14068	-1.57E-10	0.00
Freixo	06/04/98	33.9	30.3	204	200	160	157	994	996	2.5	1.2	2	0.0025	4517	-6.48E-10	-0.01
Branca	00/01/00	29.2	28.9	235	235	182	182	996	996	1.0	0.1	2	0.0025	138	3.11E-07	3.22
Coste	25/05/98	30.8	30.3	1440	1420	1053	1039	996	996	3.0	0.1	2	0.0025	705	1.69E-09	0.02
oe	05/02/98	29.7	29.6	515	515	385	385	996	996	1.0	0.0	3	0.0037	10	1.09E-04	1126.52
Ardeus	05/02/98	30.4	29.4	769	763	568	564	996	996	3.0	0.1	2	0.0025	273	5.75E-08	0.60
ta	05/02/98	30.5	28.6	624	617	463	458	996	996	2.5	0.6	2	0.0025	1413	-1.49E-09	-0.02
uca	04/02/98	31.9	31.5	606	599	450	445	995	995	1.0	0.1	2	0.0025	197	1.33E-07	1.38
á I	06/02/98	29.0	27.5	378	357	285	270	996	996	1.5	0.4	2	0.0025	1003	-9.24E-10	-0.01
io (Fazenda)	02/04/98	28.4	27.7	341	326	259	246	996	997	2.5	0.5	2	0.0025	2129	-1.31E-09	-0.01
i)	18/03/98	29.1	29.0	239	238	185	184	996	996	1.0	0.0	2	0.0025	46	3.76E-09	0.04
															3.63E-06	37.65

Tabela 4: Temperatura do AR(°C)

	Jan	Fev	Mar	abr	Maio	Jun	Jul	ago	set	out	nov	dez	média
Iguatu	Max	33.8	32.9	31.2	29.8	27.8	27.3	28.5	33.2	33.2	33.9	35.2	31.7
	Med	26.4	26.7	24.3	24.2	24.6	23.6	25.5	26.4	27.3	26.5	26.7	25.6
	Min	22.5	22.2	20.8	21.6	21.8	21.7	20.2	21.1	22.0	22.7	23.2	20.3
Sobral	Max	33.8	32.9	30.1	31.1	31.2	31.6	33.0	34.8	35.8	35.9	34.0	33.3
	Med	26.7	27.1	26.2	27.5	26.2	24.9	26.4	27.2	26.3	26.7	27.1	26.6
	Min	23.6	22.0	22.5	22.6	21.3	21.5	21.2	21.4	21.5	21.5	22.0	22.0
Fortaleza	Max	30.5	30.1	29.7	29.7	29.1	29.6	29.5	29.1	29.2	30.5	30.7	29.9
	Med	27.3	26.7	26.3	25.5	26.3	25.9	25.7	26.1	26.6	27.0	27.2	26.6
	Min	24.7	23.2	23.8	23.4	23.4	22.1	21.8	22.6	23.4	24.5	24.4	23.5
Quixeramobim	Max	33.3	32.5	31.5	30.8	29.1	30.3	30.9	32.8	34.1	34.7	34.4	32.5
	Med	27.7	27.1	26.2	26.3	25.6	25.6	25.3	27.0	27.4	27.8	26.8	26.6
	Min	23.6	23.3	23.6	23.0	22.2	21.4	21.2	22.5	23.1	23.4	23.7	22.8

Tabela 5: Diferença entre as normais da temperatura máxima mensal e mínima mensal do AR (°C)

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Iguatu	11.3	10.7	10.4	8.2	6	5.6	8.3	12.1	11.2	11.2	12	11.
Sobral	10.2	10.9	7.6	8.5	9.9	10.1	11.8	13.4	14.3	14.4	13.6	10.
Fortaleza	5.8	6.9	5.9	6.3	5.7	7.5	7.7	6.5	5.8	6	6.3	6.
Quixeramobim	9.7	9.2	7.9	7.8	6.9	8.9	9.7	10.3	11.6	11.6	11.3	10.

CONCLUSÕES

O monitoramento desses reservatórios tanto sob o aspecto de variáveis biológicas como de variáveis físico-químicas representa uma contribuição interessante para a análise do comportamento dos lagos em regiões tropicais. É interessante notar as conclusões que podem ser delineadas a partir apenas da observação de três variáveis, quais sejam, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade. Dado o fato que esses reservatórios não se apresentam estratificados por salinidade, podem ser interferidas as explicações para estratificação tão presente mostrada no perfil de oxigênio dissolvido. Os reservatórios analisados não apresentam estratificação de densidade devido a salinidade provavelmente devido ao fato de que a estratificação térmica predomina. Reservatórios tropicais apresentam-se em faixas de temperatura nas quais pequenas variações representam grandes variações de densidade. Estas interessantes conclusões estão motivando as equipes envolvidas a prosseguir no monitoramento desses lagos para que se verifiquem essas conclusões, isto é, através de campanhas onde se façam também medições noturnas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boss, S., Harleman, D.R.F. "Effect of wind-mixing on the thermocline formation of lakes and reservoirs". Report nº 249. Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamic. Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, EUA. 1979.
- IBAMA. "Pesquisas Limnológicas Comparativas em 7 açudes do Estado do Ceará". Org.: Maria Veronica da Silva. Documento nº 19. IBAMA/PAPEC. Abril 1996.
- Pompeu, M. "Estudo de eutrofização de três reservatórios do Estado do Ceará". Relatório Interno da COGERH. COGERH, Ceará, 1995.